

ATERRAMENTO ELÉTRICO

Alexandre Capelli

1 – INTRODUÇÃO

O aterramento elétrico, com certeza, é um assunto que gera um número enorme de dúvidas quanto às normas e procedimentos no que se refere ao ambiente elétrico industrial. Muitas vezes, o desconhecimento das técnicas para realizar um aterramento eficiente, ocasiona a queima de equipamentos, ou pior, o choque elétrico nos operadores desses equipamentos.

Mas o que é o “terra”? Qual a diferença entre terra, neutro, e massa? Quais são as normas que devo seguir para garantir um bom aterramento? Bem, esses são os tópicos que este artigo tentará esclarecer. É fato que o assunto “aterramento” é bastante vasto e complexo, porém, demonstraremos algumas regras básicas.

2 – PARA QUE SERVE O ATERRAMENTO ELÉTRICO ?

O aterramento elétrico tem três funções principais :

a – Proteger o usuário do equipamento das descargas atmosféricas, através da viabilização de um caminho alternativo para a terra, de descargas atmosféricas.

b – “ Descarregar ” cargas estáticas acumuladas nas carcaças das máquinas ou equipamentos para a terra.

c – Facilitar o funcionamento dos dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores, etc.), através da corrente desviada para a terra.

Veremos, mais adiante, que existem várias outras funções para o aterramento elétrico, até mesmo para eliminação de EMI , porém essas três acima são as mais fundamentais.

3 – DEFINIÇÕES : TERRA, NEUTRO, E MASSA.

Antes de falarmos sobre os tipos de aterramento, devemos esclarecer (de uma vez por todas !) o que é terra, neutro, e massa.

Na figura 1 temos um exemplo da ligação de um PC à rede elétrica, que possui duas fases (+110 VCA, - 110 VCA), e um neutro.

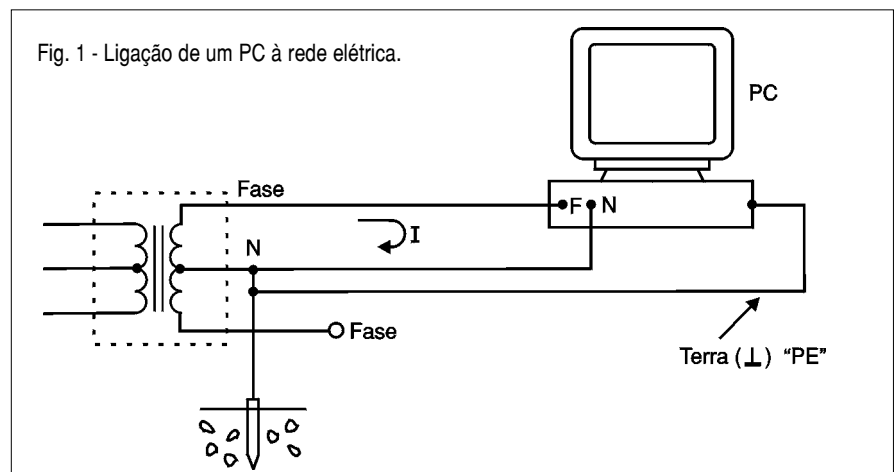
Essa alimentação é fornecida pela concessionária de energia elétrica, que somente liga a caixa de entrada ao poste externo se houver uma haste de aterramento padrão dentro do ambiente do usuário. Além disso, a concessionária também exige dois disjuntores de proteção.

Teoricamente, o terminal neutro da concessionária deve ter potencial igual a zero volt. Porém, devido ao desbalanceamento nas fases do transformador de distribuição, é comum esse terminal tender a assumir potenciais diferentes de zero.

O desbalanceamento de fases ocorre quando temos consumidores com necessidades de potências muito distintas, ligadas em um mesmo *link*. Por exemplo, um transformador alimenta, em um setor seu, uma residência comum, e no outro setor, um pequeno supermercado. Essa diferença de demanda, em um mesmo *link*, pode fazer com que o neutro varie seu potencial (flutue) .

Para evitar que esse potencial “flutue”, ligamos (logo na entrada) o fio neutro a uma haste de terra. Sendo assim, qualquer potencial que tender a aparecer será escoado para a terra.

Ainda analisando a **figura 1** , vemos que o PC está ligado em 110 VCA, pois utiliza uma fase e o neutro.



Mas, ao mesmo tempo, ligamos sua carcaça através de outro condutor na mesma haste, e damos o nome desse condutor de “terra”.

Pergunta “fatídica”: Se o neutro e o terra estão conectados ao mesmo ponto (haste de aterramento), porque um é chamado de terra e o outro de neutro?

Aqui vai a primeira definição : o **neutro** é um “condutor” fornecido pela concessionária de energia elétrica, pelo qual há o “retorno” da corrente elétrica.

O **terra** é um condutor construído através de uma haste metálica e que , em situações normais, não deve possuir corrente elétrica circulante.

Resumindo: A grande diferença entre terra e neutro é que, pelo neutro há corrente circulando, e pelo terra, não. Quando houver alguma corrente circulando pelo terra, normalmente ela deverá ser transitória, isto é, desviar uma descarga atmosférica para a terra, por exemplo. O fio terra, por norma, vem identificado pelas letras PE, e deve ser de cor verde e amarela. Notem ainda que ele está ligado à carcaça do PC. A carcaça do PC, ou de qualquer outro equipamento é o que chamamos de “massa”.

4 – TIPOS DE ATERRAMENTO

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) possui uma norma que rege o campo de instalações elétricas em baixa tensão. Essa norma é a NBR 5410, a qual, como todas as demais normas da ABNT, possui subseções. As subseções : 6.3.3.1.1, 6.3.3.1.2, e 6.3.3.1.3 referem-se aos possíveis sistemas de aterramento que podem ser feitos na indústria.

Os três sistemas da NBR 5410 mais utilizados na indústria são :

a – Sistema TN-S :

Notem pela **figura 2** que temos o secundário de um transformador (cabine primária trifásica) ligado em Y. O neutro é aterrado logo na entrada, e levado até a carga . Paralelamente , outro condutor identificado como PE é utilizado como fio terra , e é conectado à carcaça (massa) do equipamento.

b – Sistema TN-C:

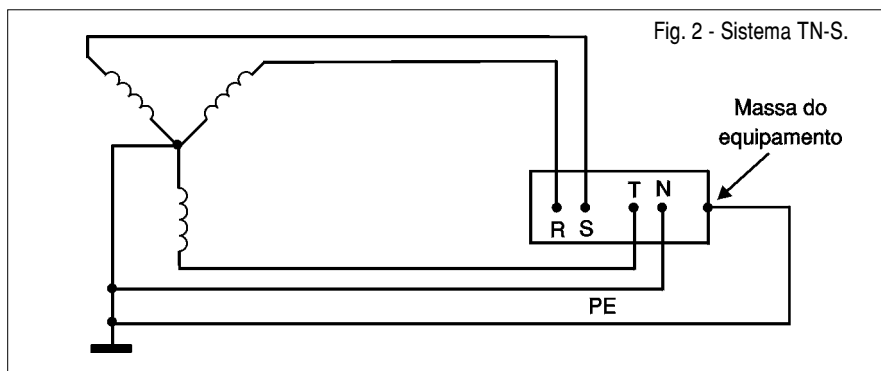


Fig. 2 - Sistema TN-S.

Esse sistema, embora normalizado, não é aconselhável, pois o fio terra e o neutro são constituídos pelo mesmo condutor. Dessa vez, sua identificação é PEN (e não PE, como o anterior). Podemos notar pela figura 3 que, após o neutro ser aterrado na entrada, ele próprio é ligado ao neutro e à massa do equipamento.

c – Sistema TT :

Esse sistema é o mais eficiente de todos. Na **figura 4** vemos que o neutro é aterrado logo na entrada e segue (como neutro) até a carga (equipamento). A massa do equipamento é aterrada com uma haste própria, independente da haste de aterramento do neutro.

O leitor pode estar pensando : “ Mas qual desses sistemas devo utilizar na prática?”

Geralmente, o próprio fabricante do equipamento especifica qual sistema é melhor para sua máquina, porém, como regra geral, temos :

a) Sempre que possível, optar pelo sistema TT em 1º lugar.

b) Caso, por razões operacionais e estruturais do local, não seja possível o sistema TT, optar pelo sistema TN-S.

c) Somente optar pelo sistema TN-

C em último caso, isto é, quando realmente for impossível estabelecer qualquer um dos dois sistemas anteriores.

5 – PROCEDIMENTOS

Os cálculos e variáveis para dimensionar um aterramento podem ser considerados assuntos para “pós – graduação em Engenharia Elétrica”. A resistividade e tipo do solo, geometria e constituição da haste de aterramento, formato em que as hastes são distribuídas, são alguns dos fatores que influenciam o valor da resistência do aterramento.

Como não podemos abordar tudo isso em um único artigo, daremos algumas “dicas” que, com certeza, irão ajudar:

a) Haste de aterramento:

A haste de aterramento normalmente, é feita de uma alma de aço revestida de cobre. Seu comprimento pode variar de 1,5 a 4,0m. As de 2,5m são as mais utilizadas, pois diminuem o risco de atingirem dutos subterrâneos em sua instalação.

b) O valor ideal para um bom aterramento deve ser menor ou igual a 5Ω. Dependendo da química do solo (quantidade de água, salinidade,

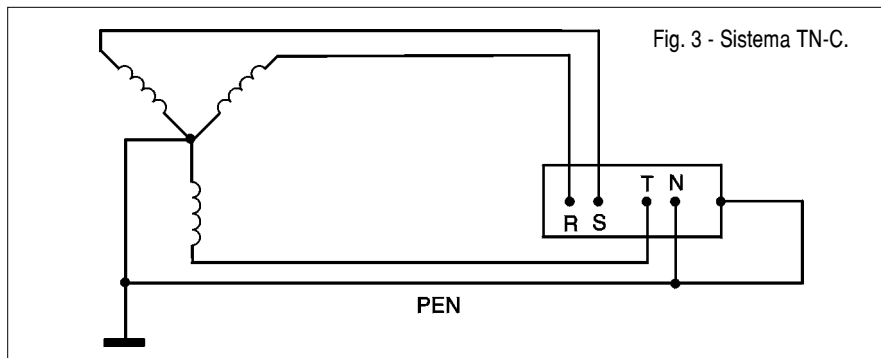


Fig. 3 - Sistema TN-C.

alcalinidade, etc.), mais de uma haste pode se fazer necessária para nos aproximarmos desse valor. Caso isso ocorra, existem duas possibilidades: tratamento químico do solo (que será analisado mais adiante), e o agrupamento de barras em paralelo.

Uma boa regra para agruparem-se barras é a da formação de polígonos. A **figura 5** mostra alguns passos. Note que, quanto maior o número de barras, mais próximo a um círculo ficamos. Outra regra no agrupamento de barras é manter sempre a distância entre elas, o mais próximo possível do comprimento de uma barra.

É bom lembrar ao leitor que essas são regras práticas. Como dissemos anteriormente, o dimensionamento do aterramento é complexo, e repleto de cálculos. Para um trabalho mais preciso e científico, o leitor deve consultar uma literatura própria.

6 - TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO

Como já observamos, a resistência do terra depende muito da constituição química do solo.

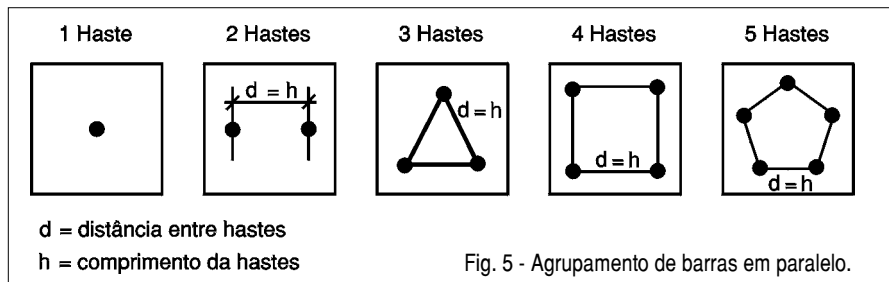
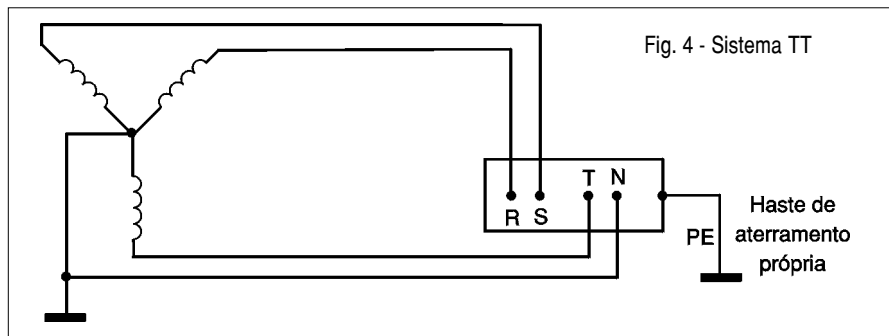
Muitas vezes, o aumento de número de "barras" de aterramento não consegue diminuir a resistência do terra significativamente. Somente nessa situação devemos pensar em tratar quimicamente o solo.

O tratamento químico tem uma grande desvantagem em relação ao aumento do número de hastes, pois a terra, aos poucos, absorve os elementos adicionados. Com o passar do tempo, sua resistência volta a aumentar, portanto, essa alternativa deve ser o último recurso.

Temos vários produtos que podem ser colocados no solo antes ou depois da instalação da haste para diminuir a resistividade do solo. A Bentonita e o Gel são os mais utilizados. De qualquer forma, o produto a ser utilizado para essa finalidade deve ter as seguintes características :

- Não ser tóxico
- Deve reter umidade
- Bom condutor de eletricidade
- Ter pH alcalino (não corrosivo)
- Não deve ser solúvel em água

Uma observação importante no que se refere a instalação em baixa



tensão é a proibição (por norma) de tratamento químico do solo para equipamentos a serem instalados em locais de acesso público (colunas de semáforos, caixas telefônicas, controladores de tráfego, etc...). Essa medida visa a segurança das pessoas nas esses locais.

7 - MEDINDO O TERRA

O instrumento clássico para medir-se a resistência do terra é o terrômetro.

Esse instrumento possui 2 hastes de referência, que servem como divisores resistivos conforme a **figura 6**.

Na verdade, o terrômetro "injeta" uma corrente pela terra que é transformada em "quedas" de tensão pelos resistores formados pelas hastes de referência, e pela própria haste de terra.

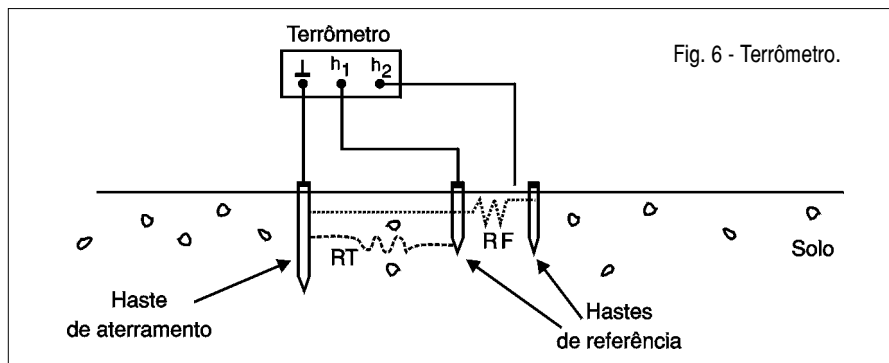
Através do valor dessa queda de tensão, o mostrador é calibrado para

indicar o valor ôhmico da resistência do terra.

Uma grande dificuldade na utilização desse instrumento é achar um local apropriado para instalar as hastes de referência. Normalmente, o chão das fábricas são concretados, e, com certeza, fazer dois "buracos" no chão (muitas vezes até já pintado) não é algo agradável .

Infelizmente, caso haja a necessidade de medir – se o terra , não temos outra opção a não ser essa. Mas, podemos ter uma idéia sobre o estado em que ele se encontra , sem medi-lo propriamente. A **figura 7** mostra esse "truque".

Em primeiro lugar escolhemos uma fase qualquer, e a conectamos a um pólo de uma lâmpada elétrica comum. Em segundo lugar, ligamos o outro pólo da lâmpada na haste de terra que estamos analisando. Quanto mais próximo do normal for o brilho da lâmpada , mais baixa é a resistência de terra .



Caso o leitor queira ser mais preciso, imaginem um exemplo de uma lâmpada de 110 volts por 100 W. Ao fazer esse teste em uma rede de 110 V com essa lâmpada, podemos medir a corrente elétrica que circula por ela. Para um "terra" considerado razoável, essa corrente deve estar acima de 600 mA.

Cabe lembrar ao leitor que, essa prática é apenas um artifício (para não dizer macete) com o qual podemos ter uma idéia das condições gerais do aterramento. Em hipótese alguma esse método pode ser utilizado para a determinação de um valor preciso.

8 - IMPLICAÇÕES DE UM MAU ATERRAMENTO

Ao contrário do que muitos pensam, os problemas que um aterramento deficiente pode causar não se limitam apenas aos aspectos de segurança.

É bem verdade que os principais efeitos de uma máquina mal aterrada são choques elétricos ao operador, e resposta lenta (ou ausente) dos sistemas de proteção (fusíveis, disjuntores, etc...).

Mas outros problemas operacionais podem ter origem no aterramento deficiente.

Abaixo segue uma pequena lista do que já observamos em campo. Caso alguém se identifique com algum desses problemas, e ainda não checou seu aterramento, está aí a dica:

- Quebra de comunicação entre máquina e PC (CPL, CNC, etc...) em modo *on-line*. Principalmente se o protocolo de comunicação for RS 232.

- Excesso de EMI gerado (interferências eletromagnéticas).

- Aquecimento anormal das etapas de potência (inversores, conversores, etc...), e motorização.

- Em caso de computadores pessoais, funcionamento irregular com constantes "travamentos".

- Falhas intermitentes, que não seguem um padrão.

- Queima de CI's ou placas eletrônicas sem razão aparente, mesmo sendo elas novas e confiáveis.

- Para equipamentos com monitores de vídeo, interferências na imagem e ondulações podem ocorrer.

CONCLUSÃO

Antes de executarmos qualquer trabalho (projeto, manutenção, instalação, etc...) na área eletroeletrônica, devemos observar todas as normas técnicas envolvidas no processo.

Somente assim poderemos realizar um trabalho eficiente, e sem problemas de natureza legal.

Atualmente, com os programas de qualidade das empresas, apenas um serviço bem feito não é suficiente. Laudos técnicos, e documentação adequada também são elementos integrantes do sistema.

Para quem estiver preparado, a consultoria de serviços de instalações em baixa – tensão é um mercado, no mínimo, interessante.

Até a próxima! ■

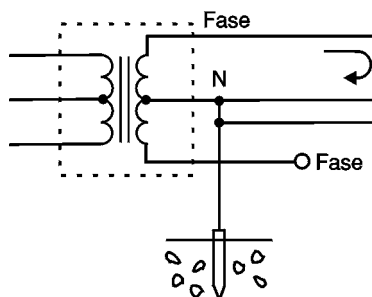


Fig. 7 - Verificação do estado do "terra".

ATERRAMENTO ELÉTRICO

PARTE II

Alexandre Capelli

Na revista Saber Eletrônica nº 329, edição de maio, iniciamos o tema “aterramento elétrico”. Como dissemos no artigo passado, esse assunto vem sendo solicitado por diversos leitores devido às inúmeras dúvidas quanto às normas e procedimentos que devemos levar em consideração no aterramento de equipamentos. Para o leitor que não leu o artigo passado, sem dúvida alguma, é fundamental consultar a primeira parte publicada.

TIPOS DE ELEMENTOS PARA ATERRAMENTO

As características químicas do solo (teor de água, quantidade de sais, etc...) influem diretamente sobre o modo como escolhemos o eletrodo de aterramento. Os eletrodos mais utilizados na prática são: hastes de aterramento, malhas de aterramento e estruturas metálicas das fundações de concreto.

Haste de aterramento

A haste pode ser encontrada em vários tamanhos e diâmetros. O mais comum é a haste de 2,5 m por 0,5 polegada de diâmetro. Não é raro, porém, encontrarmos hastes com 4,0 m de comprimento por 1 polegada de diâmetro. Cabe lembrar que, quanto maior a haste, mais riscos corremos de atingir dutos subterrâneos (telefo-

nia, gás, etc...) na hora da sua instalação. Normalmente, quando não conseguimos uma boa resistência de terra (menor que 10Ω), agrupamos mais de uma barra em paralelo (vide artigo Saber nº 329). Quanto à haste, podemos encontrar no mercado dois tipos básicos: **Copperweld** (haste com alma de aço revestida de cobre) e **Cantoneira** (trata-se de uma cantoneira de ferro zincada, ou de alumínio).

Malhas de aterramento

A malha de aterramento é indicada para locais cujo solo seja extremamente seco. Esse tipo de eletrodo de aterramento, normalmente, é instalado antes da montagem do contra-piso do prédio, e se estende por quase toda a área da construção. A malha de aterramento é feita de cobre, e sua “janela” interna pode variar de tamanho dependendo da aplicação, porém

a mais comum está mostrada na **figura 1**.

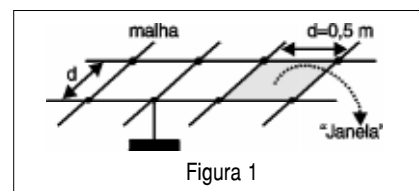


Figura 1

Estruturas metálicas

Muitas instalações utilizam as ferragens da estrutura da construção como eletrodo de aterramento elétrico. (figura 2).

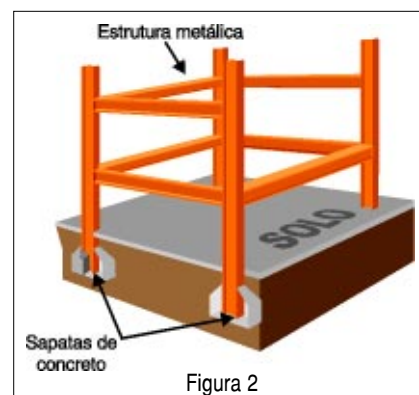


Figura 2

Mais adiante veremos que, quando isso vier a ocorrer, deveremos tomar certos cuidados.

Resumindo, qualquer que seja o eletrodo de aterramento (haste, malha, ou ferragens da estrutura), ele deve ter as seguintes características gerais:

- Ser bom condutor de eletricidade.
- Ter resistência mecânica adequada ao esforço a que está submetido.
- Não reagir (oxidar) quimicamente com o solo.

PROBLEMAS COM ATERRAMENTO ELÉTRICO LIGADO AO “PÁRA – RAIOS”

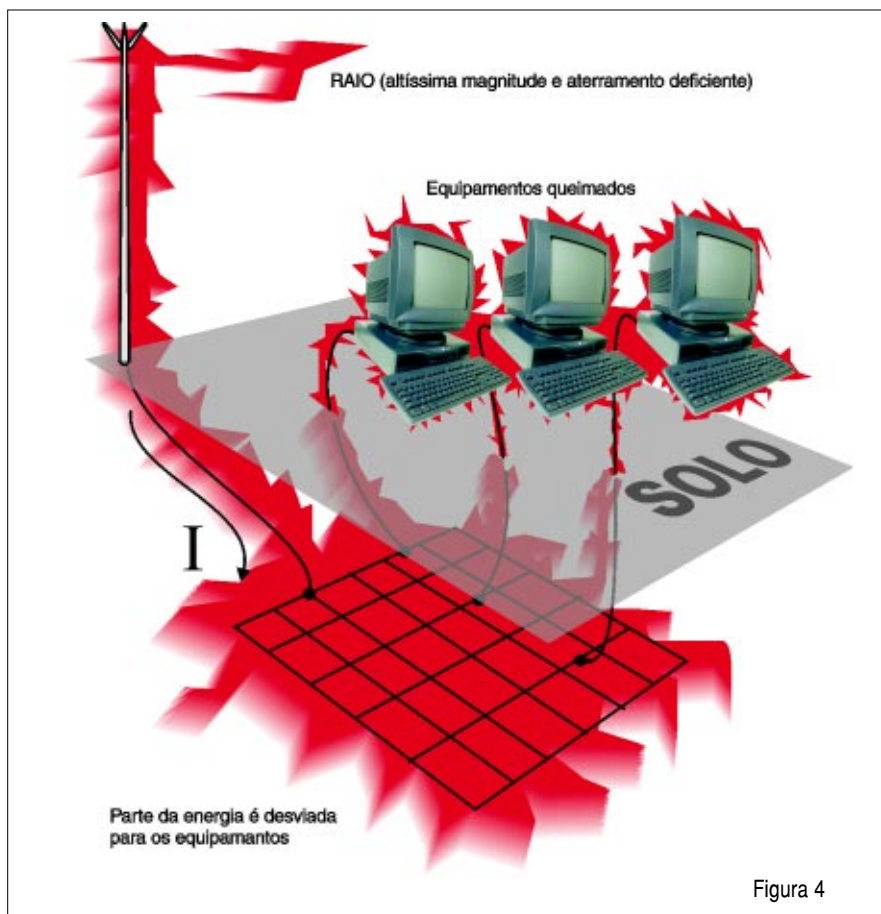
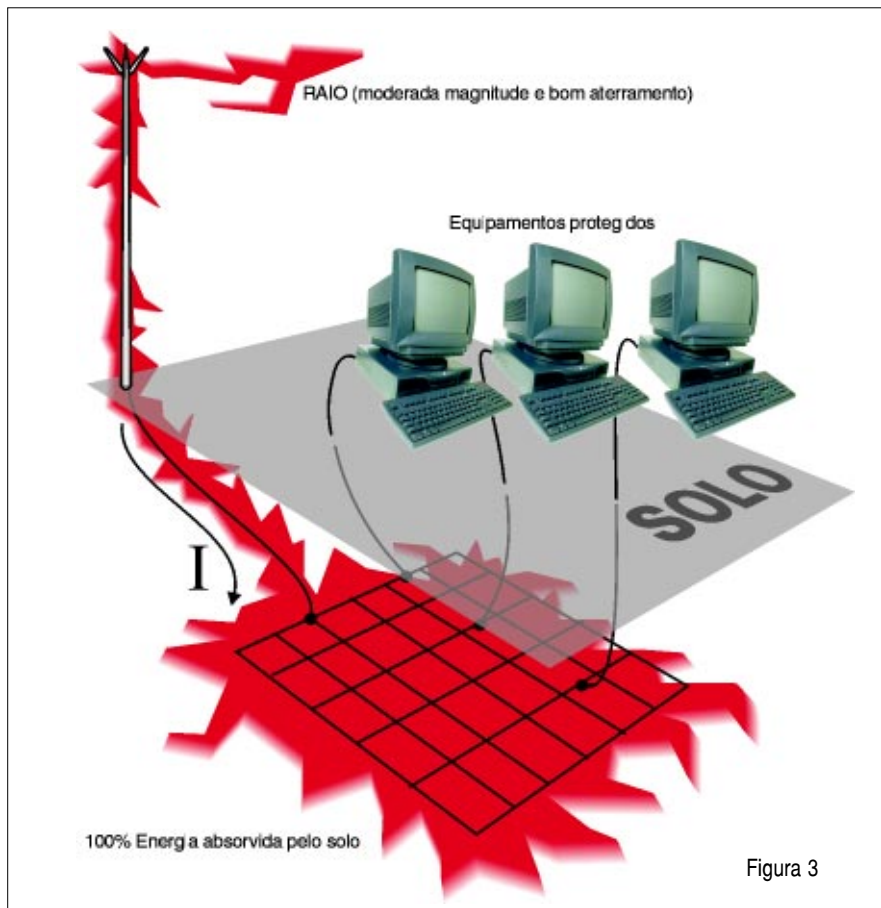
Tanto os locais que empregam malha de aterramento ou as estruturas prediais, como terra, normalmente apresentam um inconveniente que pode ser extremamente perigoso : a conexão com o pára – raios .

Notem pela **figura 3**, que temos um exemplo de uma malha de terra ligada ao pára – raios , e também aos demais equipamentos eletroeletrônicos. Essa é uma prática que devemos evitar ao máximo, pois nunca podemos prever a magnitude da potência que um raio pode atingir. Dependendo das condições, o fio terra poderá não ser suficiente para absorver toda a energia, e os equipamentos que estão junto a ele podem sofrer o impacto (**figura 4**) . Portanto, nunca devemos compartilhar o fio terra de pára – raios com qualquer equipamento eletroeletrônico.

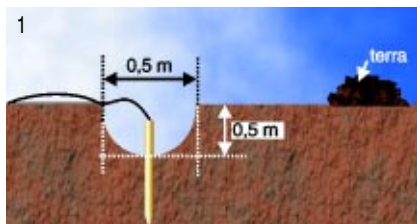
TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO

Um aterramento elétrico é considerado satisfatório quando sua resistência encontra-se abaixo dos 10 Ω . Quando não conseguimos esse valor, podemos mudar o número ou o tipo de eletrodo de aterramento. No caso de haste, podemos mudá-la para canaleta (onde a área de contato com o solo é maior) , ou ainda agruparmos mais de uma barra para o mesmo terra. Caso isso não seja suficiente, podemos pensar em uma malha de aterramento. Mas imaginem um solo tão seco que, mesmo com todas essas técnicas, ainda não seja possível chegar-se aos 10 Ω .

Nesse caso a única alternativa é o tratamento químico do solo. O tratamento do solo tem como objetivo alterar sua constituição química, aumentando o teor de água e sal e, conseqüentemente, melhorando sua condutividade. O tratamento químico deve ser o último recurso, visto que



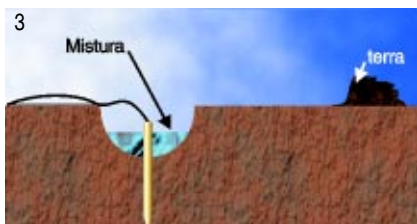
sua durabilidade não é indeterminada. O produto mais utilizado para esse tratamento é o Erico - gel , e os passos para essa técnica são os seguintes :



1º passo : Cavar um buraco com aproximadamente 50 cm de diâmetro, por 50 cm de profundidade ao redor da haste.



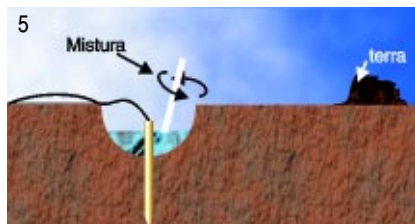
2º passo : Misturar metade da terra retirada , com Erico – gel.



3º passo : Jogar a mistura dentro do buraco.



4º passo : Jogar, aproximadamente , 25 l de água na mistura que está no buraco.



5º passo: Misturar tudo novamente.



6º passo : Tampar tudo com a terra “virgem” que sobrou.

Podemos encontrar no mercado outros tipos de produtos para o tratamento químico (Bentonita , Earthron , etc.), porém o Erico – gel é um dos mais modernos. Suas principais características são: Ph alcalino (não corrosivo), baixa resistividade elétrica, não é tóxico, não é solúvel em água (retém a água no local da haste).

BITOLA E CONEXÃO DO FIO TERRA

Ter uma boa haste ou um solo favorável não basta para termos um bom aterramento elétrico. As conexões da haste com os cabos de terra , bem como a bitola do cabo terra também contribuem muito para a resistência total de aterramento.

No que se refere à bitola do fio terra , ela deve ser a maior possível. Temos abaixo uma regra prática que evita desperdícios, e garante um bom aterramento.

Para :

$$Sf < 35 \text{ mm}^2 \rightarrow St = 16 \text{ mm}^2$$

$$Sf \geq 35 \text{ mm}^2 \rightarrow St = 0,5 Sf$$

Onde :

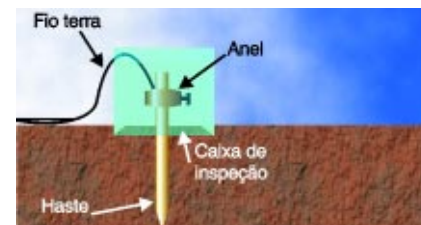
Sf = a seção transversal dos cabos (fios) de alimentação do equipamento (fases).

St = a seção transversal do fio terra.

Notem que para diâmetros inferiores a 35 mm² para as fases , temos o fio terra de 16 mm² . Já para diâmetros iguais ou acima de 35 mm², o fio terra deverá ter seção transversal igual à metade da seção dos cabos de alimentação.

Quanto à conexões , devemos optar em 1º lugar pela fixação por solda do fio terra à haste . Isso evita o aumento da resistência do terra por oxidação de contato .

Caso isso não seja possível, poderemos utilizar anéis de fixação com parafusos. Nesse caso porém , é conveniente que a conexão fique sobre o solo , e dentro de uma caixa de inspeção.



CONCLUSÃO

Embora o aterramento elétrico seja um assunto extremamente vasto e complexo , acreditamos ter fornecido, através desses dois artigos , elementos suficientes para que o leitor possa compreender melhor, e até mesmo construir, seu próprio sistema de aterramento.

Lembre – se , porém , que o aterramento está normalizado pela ABNT através da NBR 5410.

É aconselhável , antes de executar qualquer trabalho em baixa tensão , ler atentamente essa norma. ■

PROCURANDO INFORMAÇÃO?

www.sabereletronica.com.br

www.sabereletronica.com.br

www.sabereletronica.com.br

ATERRAMENTO ELÉTRICO

PARTE III

Alexandre Capelli

Finalizando o tema “Aterramento Elétrico”, este capítulo fará as considerações finais sobre o assunto abordando agora os aspectos eletrônicos. Veremos como o aterramento pode influenciar nos diversos circuitos eletrônicos e, entre eles, na própria comunicação RS 232.

Estudaremos também um pouco sobre EMI, visto que seu efeito depende em parte da qualidade do aterramento elétrico. Além disso, para quem deseja aprofundar-se um pouco mais, segue um pequeno formulário sobre aterramento elétrico.

EMI (Eletromagnetic Interference)

Qualquer condutor de eletricidade ao ser percorrido por uma corrente elétrica, gera ao seu redor um campo eletromagnético. Dependendo da frequência e intensidade da corrente elétrica, esse campo pode ser maior ou menor. Quando sua intensidade ultrapassa determinados valores, ela pode começar a interferir nos outros circuitos próximos a ele. Esse fenômeno é a EMI.

Na verdade, os efeitos da EMI começaram a ser sentidos na 2ª Guerra Mundial.

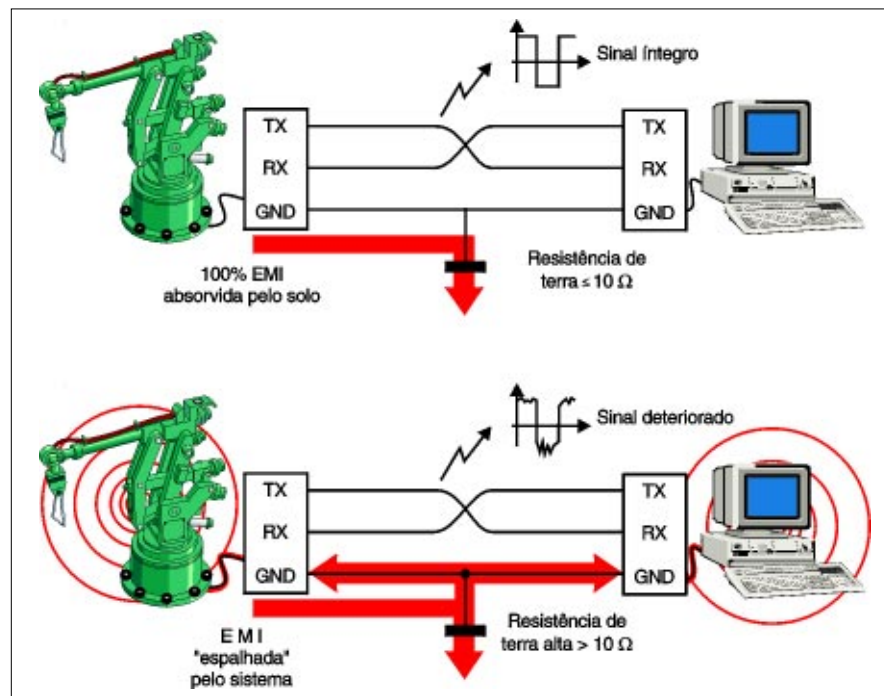
As explosões das duas bombas atômicas sobre o Japão irradiaram campos eletromagnéticos tão intensos, que as comunicações de rádio na região ficaram comprometidas por várias semanas. Atualmente, os circuitos chaveados (fontes de alimentação, inversores de frequência, reatores eletrônicos, etc.) são os principais geradores de EMI. O “chaveamento” dos transistores (PWM) em frequências de 2 a 30 kHz geram interferências que podem provocar o mau funcionamento de outros circuitos próximos, tais como CPUs, e dispositivos de comunicação (principalmente RS 232).

Podemos perceber a EMI em rádios AM colocados próximos a reatores eletrônicos de lâmpadas fluorescentes, principalmente nas estações acima dos 1000 KHz. Uma das técnicas para atenuar a EMI é justamente um bom aterramento elétrico, como veremos a seguir.

ATERRAMENTO NA COMUNICAÇÃO SERIAL RS 232

Os sistemas de comunicações seriais como RS 232 são especialmente sensíveis à EMI. A RS 232 utiliza o terra dos sistemas comunicantes como referência para os sinais de transmissão (TX) e recepção (RX). Caso haja diferenças de potenciais entre esses terras, a comunicação poderá ser quebrada. Isso ocorre quando o terra utilizado como referência não está dentro do valor ideal (menor ou igual a 10Ω), portanto o fio terra serve como uma “antena” receptora de EMI. Notem, pela **figura 1**, o diagrama simplificado do fenômeno.

Isso significa que o mau aterramento é uma “porta aberta” para que os ruídos elétricos (tais como EMI) entrem no circuito, e causem um funcionamento anormal na máquina.



BLINDAGEM ATERRADA

Outra técnica para imunizar – se os ruídos elétricos é o aterramento das blindagens. O leitor poderá perceber que todos os circuitos chaveados (fontes de alimentação, inversores, etc.), na sua maioria, possuem sua caixa de montagem feita de metal. Essa técnica é a blindagem, que também é fabricada em alguns cabos através da malha (“shield”). Na verdade, fisicamente, essa blindagem é uma gaiola de Faraday. A gaiola de Faraday não permite que cargas elétricas penetrem (ou saiam) do ambiente em que estão confinadas. Ela torna – se ainda mais eficiente quando aterrada. O próprio PC possui sua carcaça metálica, e ligada ao terminal terra. Quando não aterrarmos a carcaça de qualquer equipamento, comprometemos não somente a segurança do usuário, como também contribuimos para a propagação de EMI .

TERRA COMPARTILHADO

Devemos evitar ao máximo a ligação de muitas máquinas em um mesmo fio terra. Quanto maior for o número de sistemas compartilhados no mesmo terra, maiores serão as chances de um equipamento interferir no outro (**figura 2**).

Isso ocorre porque as amplitudes dos ruídos podem se somar e ultrapassar a capacidade de absorção do terra. Obviamente esse problema surge com maior frequência para um fio terra que não tenha uma boa resistência de aterramento. Para as máquinas que possuem seu terra tratado quimicamente, ele não deve ser compartilhado com outras. Cabe lembrar que o tratamento químico , ao longo do tempo, perde sua eficiência .

FORMULÁRIO

Até agora abordamos o aterramento elétrico de uma forma genérica e prática. Como já dissemos anteriormente, este assunto é bastante vasto e complexo. O estudo profundo do aterramento envolve um número muito grande de fórmulas um tanto quanto complicadas. De qualquer modo , seguem abaixo algumas fórmulas bá-

sicas, que podem ser úteis para um cálculo prévio à instalação do aterramento elétrico.

a) Resistência de uma haste

$$R_{haste} = \frac{\rho a}{2\pi L} \ln(4L/d) \quad \Omega.$$

onde :

ρa = resistividade do solo ($\Omega.m$)

L = comprimento da haste (m) , e

d= diâmetro da haste (m).

b) Resistência equivalente à associação de hastes em paralelo

$R_{eq} = K . R_{haste}$

Onde :

R_{eq} = resistência equivalente (Ω).

R_{haste} = resistência das hastes (Ω).

K = fator de redução (depende do solo, e geometria da haste).

c) Resistência da malha de aterramento

$$R = (\rho a/4) . \sqrt{\pi/A_{malha}}$$

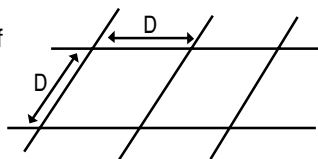
Onde :

R = resistência da malha (Ω).

ρa = resistividade do solo ($\Omega . m$).

A = área da malha (m^2).

d) Determinação da janela da malha

$$D = C/20f$$


Onde : C = velocidade da luz = 300.000.000 m/s.

f = frequência (Hz).

D = janela da malha (m) .

CONCLUSÃO

Com estas “dicas” finais, somadas às técnicas de aterramento exploradas nos dois artigos anteriores, acreditamos que o leitor já esteja preparado para analisar o sistema de aterramento da sua empresa. Fazer uma “checagem” completa do sistema de aterramento é extremamente “saudável” para os diversos equipamentos da instalação. Nunca se esqueçam, porém, que todo o trabalho em baixa tensão deve ser feito obedecendo às normas técnicas descritas pela NBR 5410.

Oportunamente voltaremos a abordar este tema “Aterramento” e pedimos a todos os leitores que enviem suas críticas referentes aos artigos já publicados, e sugestões para próximos assuntos a serem abordados. ■

